44° Convegno Internazionale
dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione
Congresso della Unione Italiana per il Disegno

Piattaforme digitali integrate per la gestione del patrimonio costruito esistente: il progetto *InSPiRE*

Fabio Planu
Dario Rizzi
Gabriele Fredduzzi

Abstract

La gestione e la manutenzione del patrimonio costruito esistente attraverso l'applicazione di tecnologie abilitanti all'avanguardia, come le reti di sensori, integrate con piattaforme digitali collaborative per la gestione dei *Big Data* in ambiente BIM, è una delle sfide attuali nella transizione e applicazione di protocolli rivolti alla digitalizzazione della filiera delle costruzioni. Le conseguenti possibilità di accessibilità, fruibilità e modellazione delle informazioni elaborate da diverse fonti di dati, rilievo terrestre tridimensionale, banche dati esistenti, immagini e dati da sensori, dati satellitari, consentono di definire e implementare, insieme allo sviluppo e all'applicazione di algoritmi di analisi anche in prospettiva di finalità predittive, diverse modalità di visualizzazione e interrogazione delle informazioni da parte di diverse categorie di utenti. I risultati del progetto di ricerca industriale *InSPiRE*, finanziato con fondi strutturali europei e realizzato in partenariato pubblico-privato, fa parte di un filone di ricerca di cui si forniscono qui i risultati, che indaga la relazione tra la gestione degli interventi sull'ambiente costruito esistente e la transizione verso l'applicazione delle principali tecnologie abilitanti e del BIM integrato.

Parole chiave
rappresentazione digitale, BIM, Big Data, piattaforme digitali integrate, tecnologie abilitanti

Concept del progetto *InSPiRE: Integrated technologies for Smart buildings and PREdictive maintenance*. Laboratorio DIAPReM/TekneHub, UNIFE.

doi.org/10.3280/oa-1016-c450

Introduzione

I dati, ormai parte integrante della vita quotidiana, con l'utilizzo delle principali tecnologie abilitanti - sensori, *Big Data* e *cloud* computing' [Beavan 2021] stanno acquisendo un ruolo sempre più strategico nella filiera delle costruzioni. La letteratura rivela che la rivoluzione digitale nel settore registra una crescente accelerazione nell'interoperabilità dei dati rivolti a progetti collaborativi integrati. A partire dai processi di introduzione di strumenti e metodi BIM, si riscontra il crescente interesse finalizzato alla trasformazione della filiera. L'incremento del loro utilizzo ha portato alla formulazione e condivisione di standard operativi, come l'IFC [Vernizzi et al. 2022], base effettiva per lo sviluppo di ambienti digitali integrati. Il costruito esistente è il campo di ricerca che richiede la transizione verso l'applicazione di nuovi approcci dove, come espresso da Malinverni, "un modello digitale 3D strutturato come parte del processo di miglioramento dell'ambiente costruito è oggi una necessità urgente" [Malinverni et al. 2019, p. 778]. Tuttavia, ponendo l'accento soprattutto sulla geometria 3D, la catena del valore dell'intervento sull'esistente continua a essere caratterizzata da informazioni frammentate e fonti eterogenee di dati [Balzani et al. 2020] che devono essere messi in relazione ed essere resi disponibili come *know-how* organizzato. I rilievi 3D e gli sviluppi nel campo dello *scan-to-BIM*, a partire dalla metodologia consolidata nella creazione di modelli 3D a nuvola di punti, hanno fornito una base sempre più affidabile per il processo di rappresentazione degli edifici esistenti [Kim et al. 2022]. É ampiamente riconosciuto dalla letteratura che, dato l'ampliamento della disponibilità di tecnologie abilitanti per la documentazione dello stato degli edifici, la transizione rivolta alla loro implementazione è oggi un requisito fondamentale. La necessità di avanzare nello sviluppo di un unico contesto convergente [Banfi et al. 2022] per la visualizzazione e la rappresentazione digitale di modelli correlati alle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'edificio o del tessuto urbano da analizzare [Bianchini et al. 2021], implementando protocolli di interoperabilità dei dati che ci si aspetta siano veloci, affidabili e sicuri [Dimambro], è un ambito di ricerca attuale, avviato da oltre cinque anni presso il centro di ricerca DIAPReM ed il laboratorio TekneHub dell'Università degli Studi di Ferrara, capofila nell'ambito del progetto di ricerca industriale *InSPiRE: Integrated technologies for Smart buildings and PREdictive maintenance*.

Piattaforma collaborativa a supporto decisionale

Il progetto *InSPiRE* ha sviluppato uno strumento integrato di diagnostica predittiva per il monitoraggio real-time dello stato di conservazione di materiali, componenti e sistemi del patrimonio costruito esistente che, in normali condizioni di esercizio, volge al termine della vita utile. Sviluppata dall'implementazione del background tecnologico della piattaforma Mu.S.a e da partnership pubblico-private consolidate nell'ambito del Clust-ER BUILD e della Strategia di Specializzazione Intelligente della Regione Emilia-Romagna, il sistema messo a punto nell'ambito del progetto di ricerca *InSPiRE*, cofinanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale (POR FESR 2014-2020) e dal Fondo per lo sviluppo e la coesione (FCS) ha avuto l'obiettivo di promuovere l'aggiornamento delle competenze verso la transizione digitale e dell'Industria 4.0.
La diagnostica ed il monitoraggio, integrati attraverso uno strumento digitale, sottendono una transizione finalizzata a promuovere una gestione efficiente delle risorse per favorire l'incremento del ciclo di vita del patrimonio costruito. Attraverso l'implementazione di una piattaforma collaborativa, basata su una rete di sensori remoti e su un'innovativa architettura di sistema, i casi studio di edilizia sociale pubblica del patrimonio edilizio di ACER scelti, sono stati posti sotto monitoraggio continuo, senza interrompere l'uso a carattere residenziale, per lo sviluppo di un algoritmo predittivo [Galdelli et al. 2022] volto all'identificazione preventiva del danno e alla valutazione della sicurezza statica e sismica. È, pertanto, strategico estrarre dai *Big Data* solo quanto di necessario per organizzare le informazioni a supporto dell'analisi che coinvolge i differenti utenti. L'ascesa delle tecnologie abilitanti dell'*Internet of Things* (IoT) hanno consentito la sincronizzazione in tempo reale con i sensori distribuiti nel

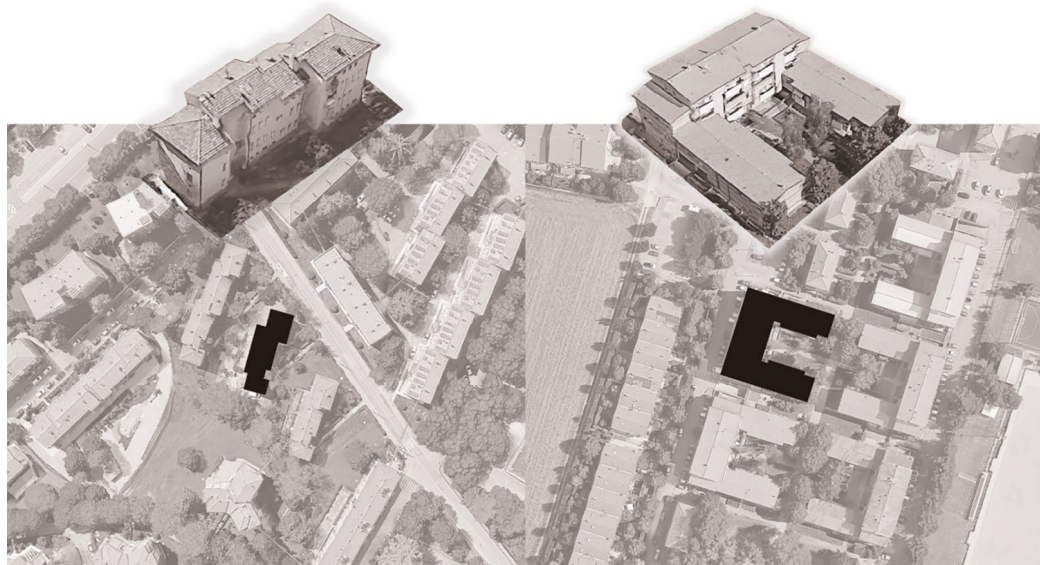
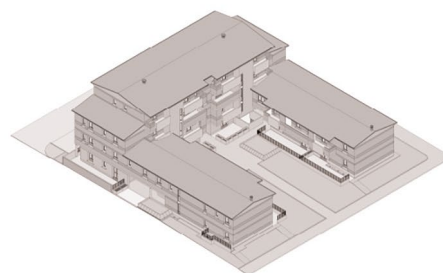



Fig. 1. Alcuni casi studio di edilizia sociale realizzati nell'ambito del progetto *InSPiRE*. Laboratorio DIAPReM/TekneHub, UNIFE.

fabbricato. Implementandoli nel modello tridimensionale dell'edificio si denota la possibilità di interagire direttamente mediante la rappresentazione 3D la quale, integrando aspetti fisici e digitali in un unico ambiente virtuale, migliora le simulazioni e la comunicazione di informazioni e dati durante l'intero ciclo di vita dell'edificio. Identificando tempestivamente la manifestazione del danno, consente quindi di comprendere l'ordine di priorità e l'entità dei problemi, così da agire in modo reattivo e cognitivo nell'imminenza di un'allerta. L'impatto che ha piattaforma *InSPiRE* è di supporto all'utente nel programmare interventi manutentivi mirati, contribuendo alla gestione efficiente delle risorse economiche e all'incremento della vita utile dell'esistente.
Nell'ambito del progetto sono state affrontate tematiche inerenti all'implementazione di protocolli di scambio dati relativi all'integrazione del database di gestione degli interventi impiegato dall'agenzia ACER, correlati ai dati di rilievo laser scanner e fotogrammetrico dello stato di fatto. Un ulteriore sviluppo ha previsto il monitoraggio del contesto alla scala urbana con metodo radar-satellite per la valutazione del fenomeno di subsidenza (fig. 1).

Rappresentazione digitale e *Big Data*

Spinta dall'innovazione di tecnologie abilitanti come l'IoT, la società odierna produce enormi quantità di dati, che hanno un ruolo sempre più centrale nelle relazioni tra utenti, beni, servizi e investitori, grazie alla loro vocazione di supportare un processo decisionale più efficiente e decentralizzato. La raccolta, la connessione e l'utilizzo dei dati stanno trasformando anche l'ambiente costruito, aprendo la filiera delle costruzioni all'innovazione [Daissaoui et al. 2020]. I database dei *Big Data* sono costituiti da dati provenienti da fonti eterogenee risultando frammentati. Non sono infatti sempre disponibili in un formato 'organizzato',

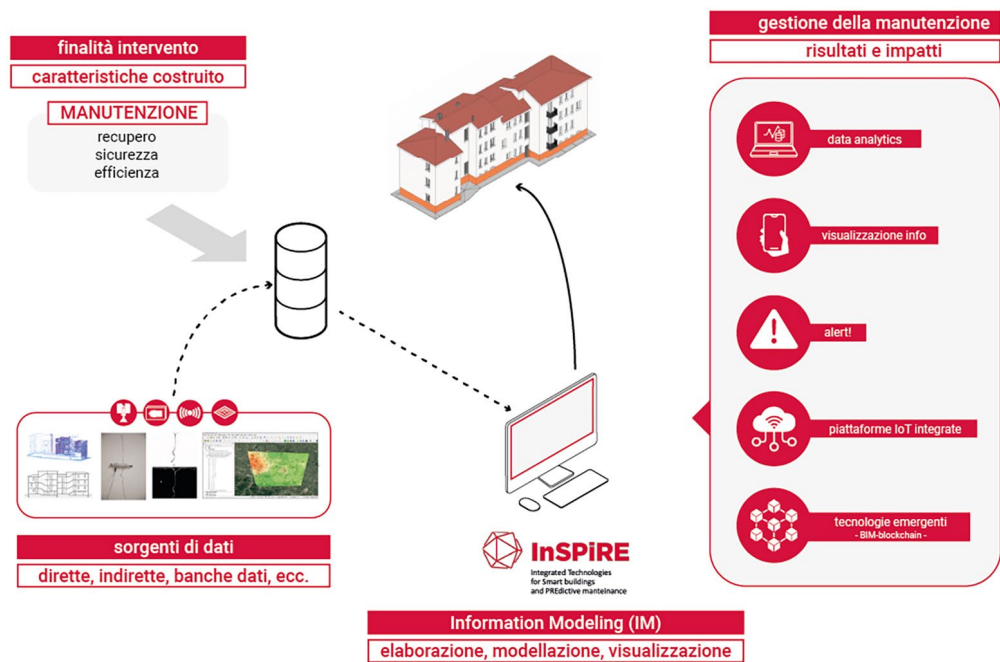



Fig. 2. Integrazione di dati provenienti da diverse fonti per la manutenzione predittiva del patrimonio edilizio. Laboratorio DIAPReM/TekneHub, UNIFE.

ma si presentano anche sotto forma di documenti e meta-dati. Un sistema mirato ad un approccio *data-driven* nell'ambiente costruito, in un processo di transizione come quello attuale, deve poter sviluppare un ecosistema di servizi [Lazarova et al. 2020] rispondendo a interrogazioni relative allo stato di fatto sincronico di scenari diacronici. Le competenze tecniche, teoriche e pratiche per lo sviluppo di applicazioni basate sui *Big Data* richiedono un dominio di competenza specifico nel campo che deve però essere integrato da competenze specifiche del dominio applicativo, in questo caso quello delle costruzioni. Nella piattaforma *InSPiRE* sono state impiegate soluzioni specifiche per l'elaborazione dei *Big Data* e le competenze inerenti al dominio IT hanno riguardato il *data science* e la programmazione per la strutturazione dei dati e l'applicazione degli algoritmi. *InSPiRE* è stata programmata utilizzando l'architettura *Lambda*, che costruisce un sistema per la gestione dei *Big Data* in una serie di livelli, ognuno dei quali soddisfa dei requisiti sfruttando le caratteristiche di quello sottostante. Nella catena di valore del dato del costruito esistente, in cui le informazioni sono rappresentate secondo differenti modalità, tra cui grafici, mappe e diagrammi, in seguito alla definizione degli scenari di intervento, è lo *Speed layer* che consente di aggiornare le informazioni mediante una computazione incrementale *real-time* (fig. 2).

Frontend, backend e visualizzazione dei dati

Nella piattaforma *InSPiRE* il modulo diagnostico e predittivo consente la gestione del processo in *real-time* per consentire la pianificazione delle azioni necessarie alla raccolta e all'analisi dei dati, ed è in grado di ricevere, archiviare ed analizzare il traffico in ingresso da qualsiasi rete (IoT e non IoT). È quindi suddivisa in aree funzionali a seconda dei requisiti dell'utente. La *Dashboard Home* è il fulcro del portale dove, mappe e *widget* visualizzano i dati registrati dal sistema attraverso indici sintetici dello stato di monitoraggio. Costituita da tre schede tematiche distinte per: '*alert*', 'edifici' e 'mappa', quest'ultima, organizzata su più livelli che possono essere attivati a seconda delle esigenze, consente di visualizzare l'edificio monitorato in relazione ai punti radar, alle mappe di subsidenza, alle curve isometriche e al consumo energetico, rappresentando le informazioni sia alla scala dell'edificio che territoriale, così da agevolare l'interpretazione delle informazioni. Predisposta sulla *Dashboard*, la scheda '*alert*', segnala tre diversi tipi di anomalie, a seconda di quella che viene riscontrata dalle misurazioni dei sensori. La scheda 'edifici' consente di visualizzare le informazioni ine-

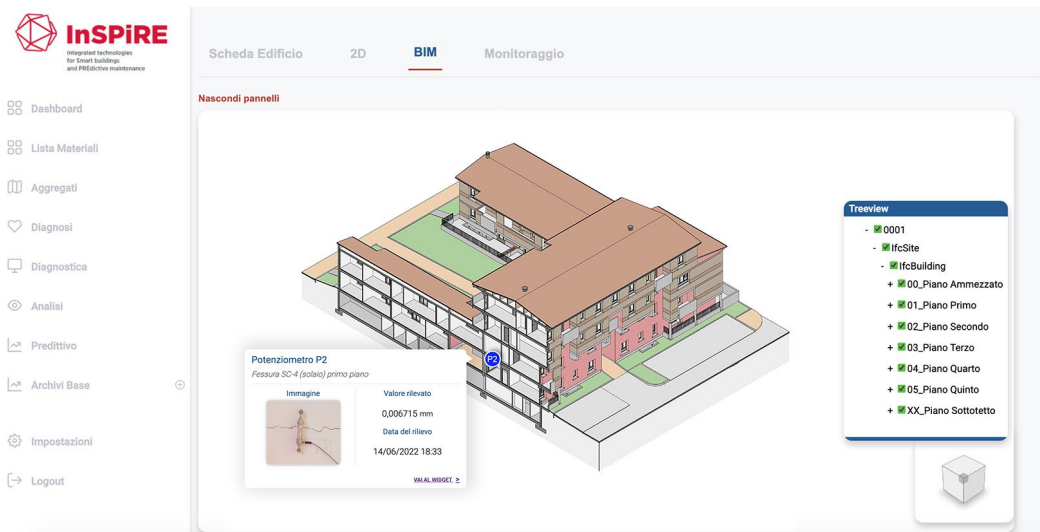



Fig. 3. Visualizzazione dei dati in ambiente BIM. Laboratorio DIAPReM/TekneHub, UNIFE.

renti lo stato di acquisizione ed il collegamento diretto a rappresentazioni 2D e al modello BIM. Dalla visualizzazione del modello tridimensionale del gemello digitale è consentita la navigazione a tutte le informazioni ad esso collegate, costituendo quindi un processo di transizione finalizzata all'incremento dell'accessibilità alla fonte dei dati registrati [Osello et al. 2015]. Attraverso il modello BIM, arricchito con i sensori del sistema di acquisizione, si consente quindi l'accesso diretto a tutti gli utenti dei risultati prodotti dal sistema di elaborazione dei dati [McArthur et al. 2018] e alle immagini registrate dal sistema di *imaging* diagnostico, incrementando l'interoperabilità delle informazioni.
La 'macrocategoria di classificazione dei materiali e dei componenti', funzione aggiuntiva di *InSPiRE*, include le categorie immobiliari, le tecnologie costruttive e i materiali ricorrenti nell'edilizia sociale pubblica del XX secolo, identificando tali caratteristiche nell'edificio monitorato secondo un'organizzazione gerarchica che, nel progetto pilota di via Alberto Mario, sono implementate sia con dati reali ottenuti dalla campagna diagnostica, sia con dati statistici (figg. 3, 4).

Machine learning e visualizzazione dei dati

Nel periodo preso in esame sono stati monitorati parametri prestazionali con l'obiettivo di valutare le correlazioni con le variazioni stagionali o altri con eventi che hanno evidenziato variazioni in uno scenario diacronico. Parallelamente sono state condotte analisi non lineari per studiare il suo comportamento in caso di cedimenti strutturali. A partire dai dati di subsidenza forniti dalla Regione Emilia-Romagna, è stato sviluppato un modello analitico finalizzato a stimare i danni sul patrimonio edilizio del territorio regionale che, a partire da un numero limitato di parametri e di dati dell'edificio, consente di ottenere una prima stima del danno atteso. Sono quindi state definite le priorità di azioni di intervento e manutenzione sugli edifici che, integrate al monitoraggio continuo e alla condivisione dei dati raccolti, forniranno supporto decisionale nell'individuare le situazioni che necessitano di priorità [Raco et al. 2022]. Inoltre, i dati ottenuti dai sensori ottici posti sotto monitoraggio continuo ed elaborati con algoritmi di *machine learning* e di *imaging*, hanno mostrato che l'approccio utilizzato ha la potenzialità di monitorare le variazioni del quadro fessurativo con precisione sub-millimetrica.
È stato infine sviluppato un algoritmo predittivo con l'obiettivo di prevedere e confrontare differenti scenari di miglioramento dei parametri di prestazione energetica, mettendo in relazione i dati derivanti da analisi analitiche con indicatori parametrici assegnati in base alla geometria, alla tipologia ed all'epoca di costruzione dell'edificio. Definito e standardizzato un insieme di soluzioni ricorrenti per il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici e,

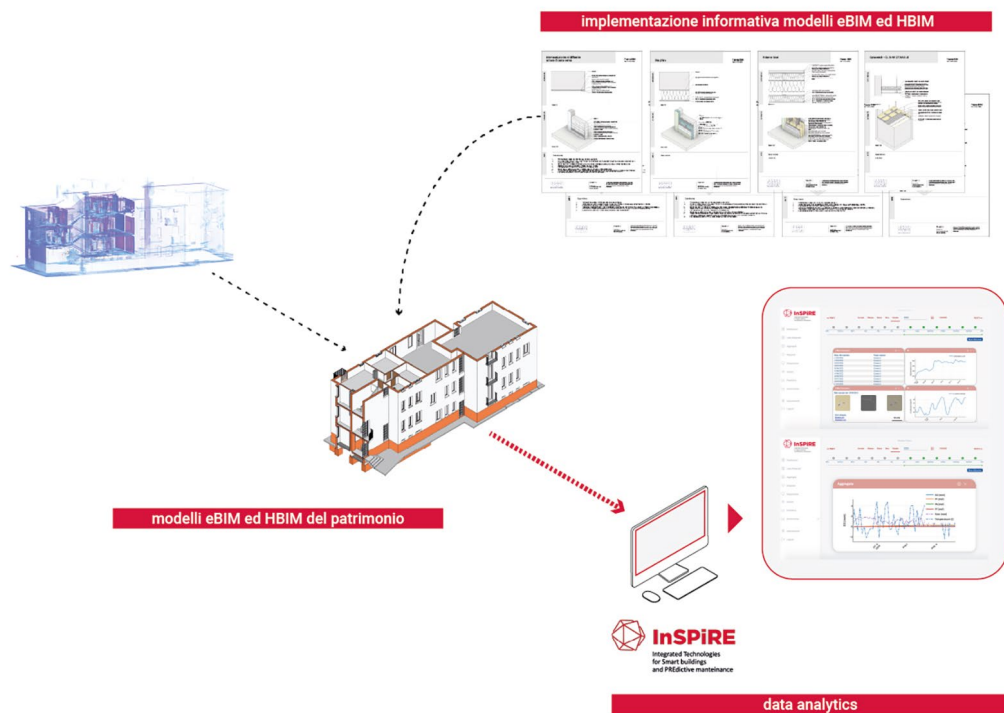



Fig. 4. Dalla modellazione 3D alla visualizzazione dei dati. Laboratorio DIAPReM/TekneHub, UNIFE.

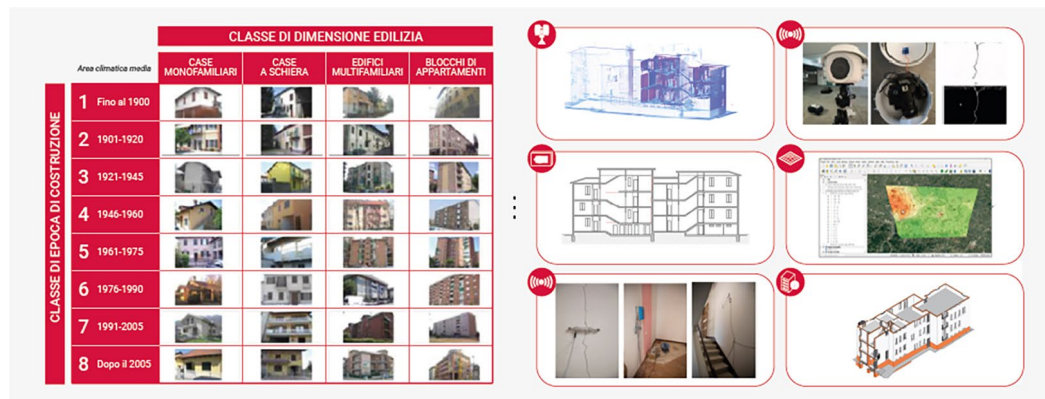
associati indicatori di costo e di miglioramento delle prestazioni ottenibili ai diversi interventi, si può supportare l'individuazione della soluzione più opportuna in relazione al rapporto costi-benefici che si intende raggiungere (fig. 5).

Impatti nel medio e lungo termine

Nelle successive fasi di sviluppo è prevista l'implementazione di ulteriori algoritmi di *machine learning* e *BIM-blockchain*. La scalabilità degli esiti della ricerca fin qui condotta rende infatti possibile la transizione digitale della diagnostica e del monitoraggio attraverso l'implementazione degli approcci e dei protocolli testati a casi analoghi del patrimonio edilizio. Lo sviluppo della piattaforma attraverso un approccio *Open BIM* basato su standard aperti [Maietti et al. 2019] richiede inoltre la definizione di procedure semantiche, per l'integrazione di sistemi complessi (BIM) e sensori IoT. La rigenerazione urbana e sociale, come espresso dalle politiche europee, sono infatti fenomeni imprescindibili dello sviluppo di strategie di gestione e riqualificazione del patrimonio costruito. L'impatto di questi risultati contribuisce quindi alla riduzione dei costi negli interventi manutentivi ed alla gestione efficiente delle risorse, così da favorire l'incremento del ciclo di vita del patrimonio esistente migliorandone l'accessibilità e, nel lungo termine, promuovendo una migliore qualità di vita.

Conclusioni

L'integrazione di tecnologie abilitanti per l'implementazione di piattaforme di condivisione e visualizzazione dei dati per la gestione degli interventi e per la manutenzione, anche predittiva, del patrimonio costruito può contribuire alla transizione digitale della filiera. Persistono però delle resistenze da parte degli attori coinvolti all'approccio *Open Data* e alla trasparenza dell'intero ciclo di vita dell'edificio. Se da un lato la modellazione e l'utilizzo dei *Big Data* rendono oggi accessibile l'applicazione di *machine learning* anche al settore delle costruzioni [Giordano et. al. 2022], le competenze specialistiche richieste e la storica resistenza della filiera all'introduzione di livelli di industrializzazione più elevati, costituiscono oggi una barriera. Tuttavia, le organizzazioni devono essere incoraggiate ad adottare modelli di gestione e di

Fig. 5. Confronto tra i diversi dati dell'approccio speditivo e non speditivo per la definizione dell'algoritmo di calcolo. Laboratorio DIAPReM/ TekneHub, UNIFE.

intervento orientati alla raccolta dei *Big Data*, divenuti requisiti essenziali per implementare le funzionalità di *analytics* e per le integrazioni IoT previste [Campos et al. 2020]. Si registra infatti un crescente interesse verso la sperimentazione e la condivisione di buone pratiche che possano rendere possibile la transizione dai metodi tradizionali, non più sostenibili in termini di tempo e costi, verso una gestione più oggettiva e tempestiva delle problematiche legate all'intervento sull'esistente.
A tal proposito la scalabilità dell'innovazione, nodo centrale a sostegno dei progetti di transizione digitale pubblico-privata della filiera, è necessaria per affrontare la fragilità tecnologica e sociale che caratterizza i contesti di edilizia popolare diffusi sul territorio nazionale.

Riferimenti bibliografici

Balzani M., Raco F. (2020). Integrated Digital Models for the Representation and Diagnosis in Existing Buildings: The Clust-ER BUILD Project for the Value Chain Innovation. In C. Bolognesi, C. Santagati (a cura di). *Impact of Industry 4.0 on Architecture and Cultural Heritage*, pp. 181-201. Hershey: IGI Global.

Banfi F., Brumana R., Salvalai G., Previtali M. (2022). Digital Twin and Cloud Development: From Scan-to- BIM-to-DT Process to a 4D Multi-User Live App to Improve Building Comfort, Efficency and Costs. In *Energies*, n. 15, 4497, pp. 1-26.

Beavan V. (2021). Data in the natural and built environment. <https://www.arup.com/expertise/services/ digital/data-in-the-built-environment> (consultato il 2 febbraio 2023).

Bianchini C., Attenni M., Potestà G. (2021). Regenerative Design Tools for the Existing City: HBIM Potentials. In M.B. Andreucci, A. Marvuglia, M. Baltov, P. Hansen (a cura di). *Rethinking Sustainability Towards a Regenerative Economy*, pp. 23-43. Cham: Springer.

Campos Fialho B., Codinhoto R., Márcio Minto F. (2020). BIM and IoT for the AEC Industry: A systematic literature mapping. In *Congreso SIGraDi 2020*. São Paulo: Blucher.

Daissaoui A., Boulmakoul A., Karim L., Lbath A. (2020). IoT and Big Data Analytics for Smart Buildings: A Survey. In *Procedia Computer Science*, vol. 170, pp. 161-168.

Digital twin towards a meaningful framework (novembre 2019). <https://www.arup.com/-/media/arup/files/publications/d/digital-twin-report.pdf> (consultato il 2 febbraio 2023).

Dimambro J. Data centres and technology. <https://www.arup.com/markets/science-industry-and-technology/data-centres> (consultato il 2 febbraio 2023).

Galdelli A., D'Imperio M., Marchello G., Mancini A., Scaccia M., Sasso M., Frontoni E., Cannella F. (2022). A Novel Remote Visual Inspection System for Bridge Predictive Maintenance. In *Remote Sens*, n. 14, 2248.

Giordano A., Huffman K. L., Bernardello R.A., Perticarini M., Basso A. (2022). Machine Learning and Artificial Intelligence for Smart Visualization, Presentation, and Study of Architecture and Engineering in the Urban Environment: Visualizing City Progress. In In F.M. Ugliotti, A. Osello (a cura di). *Handbook of Research on Implementing Digital Reality and Interactive Technologies to Achieve Society 5.0*, pp. 184-200. Hershey: IGI Global.

Key enabling technologie for Europe's technological sovereignty (16 dicembre 2021). <https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_STU(2021)697184> (consultato il 3 febbraio 2023).

Kim I., Kim J.I. (2022). Special Issue on BIM and Its Integration with Emerging Technologies. In *Appl. Sci.*, n. 12, 5368.

Lazarova-Molnar S., Mohamed N. (2020). Collaborative data analytics for smart buildings: opportunities and models. In *Cluster Comput*, n. 22, pp. 1065-1077.

Maietti F., Di Giulio R., Piaia E., Medici M., Ferrari F. (2018). Enhancing Heritage fruition through 3D semantic modelling and digital tool: the INCEPTION project. In *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, n. 364, 012089.

Malinverni E.S., Mariano F., Di Stefano F., Petetta L., Onori F. (2019). Modelling in HBIM to document materials decay by a thematic mapping to manage the cultural heritage: the case of "Chiesa della Pietà" in Fermo. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII-2/W11, GEORES 2019 - 2nd International Conference of Geomatics and Restoration, Milano 8-10 maggio 2019, pp. 777-784.

McArthur J.J, Shahbazi N., Fok R., Raghubar C., Bortoluzzi B., An B. (2018). Machine learning and BIM visualization for maintenance issue classification and enhanced data collection. In *Advanced Engineering Informatics*, n. 38, pp. 101-112.

Osello A., Acquaviva A., Dalmasso D., Erba D., Del Giudice M., Macii E., Patti E. (2015). BIM and Interoperability for Cultural Heritage through ICT. In S. Brusaporci (a cura di). *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation,* pp. 274-291. Hershey: IGI Global.

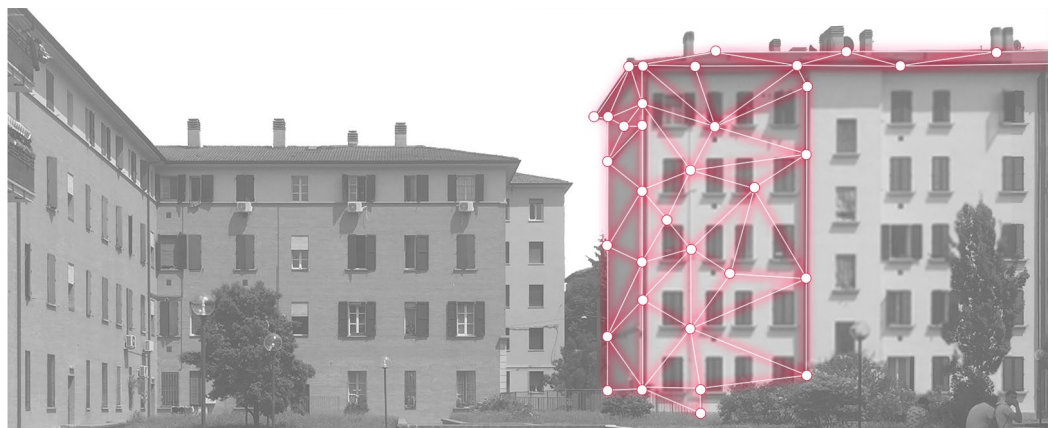
Raco F., Balzani M., Planu F., Cittadino A. (2022). InSPiRE Project: Integrated Technologies for Smart Buildings and Predictive Maintenance. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* XLVIII-4/W3-2022, pp. 127-133.

Vernizzi C., Mazzi R. (2022). From the Digitization of Building Materials to Their Use in BIM Models on an Open Standard Platform: The eBIM Project and Its Applications. In F.M. Ugliotti, A. Osello (a cura di). *Handbook of Research on Implementing Digital Reality and Interactive Technologies to Achieve Society 5.0,* pp. 222-250. Hershey: IGI Global.

Autori
Fabio Planu, Università degli Studi di Ferrara, fabio.planu@unife.it
Dario Rizzi, Università degli Studi di Ferrara, dario.rizzi@unife.it
Gabriele Fredduzzi, Università degli Studi di Ferrara, gabriele.fredduzzi@unife.it

Per citare questo articolo: Planu Fabio, Rizzi Dario, Fredduzzi Gabriele (2023). Piattaforme digitali integrate per la gestione del patrimonio costruito esistente: il progetto *InSPiRE*/Integrated Digital Platforms for the Management of the Existing Built Heritage: the *InSPiRE* Project. In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 3007-3022.

Isbn 9788835155119

Integrated Digital Platforms for the Management of the Existing Built Heritage: the *InSPiRE* Project

Fabio Planu
Dario Rizzi
Gabriele Fredduzzi

Abstract

The management and maintenance of the existing built heritage through the application of cutting-edge enabling technologies, such as sensor networks, integrated with collaborative digital platforms for Big Data management in a BIM environment, is one of the current challenges in the transition and application of protocols aimed at the digitization of the construction supply chain. The resulting possibilities of accessibility, usability and modeling of information processed from different data sources, three-dimensional terrestrial survey, existing databases, images and data from sensors, and satellite data, allow for the definition and implementation, together with the development and application of analysis algorithms also with a view to predictive purposes, of different ways of viewing and querying information by different categories of users. The results of the *InSPiRE* industrial research project, funded by European structural funds and carried out in a public-private partnership, is part of a strand of research whose results are provided here, investigating the relationship between the management of interventions on the existing built environment and the transition to the application of key enabling technologies and integrated BIM.

Keywords
Digital Representation, BIM, Big Data, Integrated Digital Platforms, Key Enabling Technologies

Concept of the *InSPiRE project: Integrated technologies for Smart buildings and PREdictive maintenance*. DIAPReM/ TekneHub Laboratory, UNIFE.

doi.org/10.3280/oa-1016-c450

Introduction

Data, an integral part of everyday life nowadays, with the use of key enabling technologies-sensors, Big Data and cloud computing [Beavan 2021] are gaining an increasingly strategic role in the construction supply chain. The literature reveals that the digital revolution in the industry is experiencing an increasing acceleration in data interoperability aimed at integrated collaborative projects. Starting with the implementation of BIM tools and methods, there is the growing interest aimed at the transformation of the supply chain. The increase in their use has led to the creation and sharing of operational standards, such as IFC [Vernizzi et al. 2022], an effective basis for the development of integrated digital environments. The existing built environment is the research field that needs to transition to the application of new approaches where, as expressed by Malinverni, "a structured 3D digital model as part of the built environment improvement process is now an urgent need today" [Malinverni et al. 2019, p. 778]. However, with the main emphasis on 3D geometry, the value chain of intervention on the existing continues to be characterized by fragmented information and heterogeneous sources of data [Balzani et al. 2020] that need to be related and made available as organized know-how. 3D surveys and developments in the field of scan-to-BIM, beginning with the established methodology in the creation of 3D point cloud models, have provided an increasingly reliable basis for the process of representing existing buildings [Kim et al. 2022]. It is widely recognized in the literature that as the availability of enabling technologies for documenting the state of buildings expands, the transition directed toward their implementation is now a key requirement. The need to progress in the development of a single convergent framework [Banfi et al. 2022] for the visualization and digital representation of models related to the geometric and morphological characteristics of the building or urban fabric to be analyzed [Bianchini et al. 2021], implementing data interoperability protocols that are expected to be fast, reliable and secure [Dimambro], is a current area of research that has been underway for more than five years at the DIAPReM research center and the TekneHub laboratory of the University of Ferrara, lead partner in the industrial research project *InSPiRE: Integrated technologies for Smart buildings and PREdictive maintenance*.

Collaborative decision-support platform

The *InSPiRE* project, developed an integrated predictive diagnostics tool for real-time monitoring of the state of preservation of materials, components and systems of the existing built heritage that, under normal use conditions, is approaching the end of its useful life. Developed from the implementation of the technological background of the Mu.S.a platform and from public-private partnerships set up within the Clust-ER BUILD and the Emilia-Romagna Region's Intelligent Specialization Strategy, the system developed as part of the *InSPiRE* research project, co-funded by the European Regional Development Fund (ROP ERDF 2014-2020) and the Fund for Development and Cohesion (FCS), aimed to promote expertise upgrading towards the digital and Industry 4.0 transition.
Diagnostics and monitoring, integrated through a digital tool, underlie a transition aimed at promoting efficient resource management to foster an increase in the life cycle of the built heritage. Through the implementation of a collaborative platform, based on a network of remote sensors and an innovative system architecture, selected ACER public social housing case studies were placed under continuous monitoring, without residential use suspension, for the development of a predictive algorithm [Galdelli et al. 2022] aimed at preventive damage identification and static and seismic safety assessment. It is therefore strategic to extract from Big Data only what is necessary to organize information to support analysis involving different users. The rise of Internet of Things (IoT) enabling technologies allowed real-time synchronization with sensors placed in the building. Implementing them into the three-dimensional model of the building indicates the ability to interact directly through the 3D representation which, by integrating physical and digital aspects into a single virtual environment, enhances simulations and communication of information and data throughout

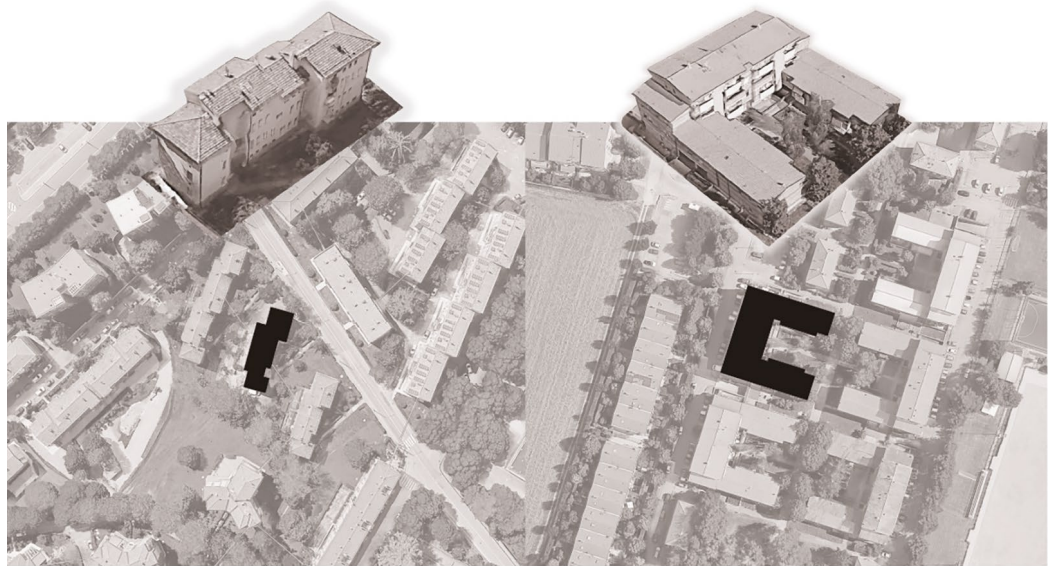
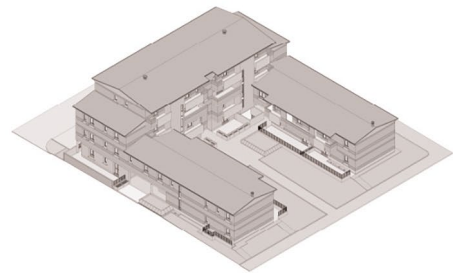



Fig. 1. Some case studies of social housing carried out as part of the *InSPiRE* project. DIAPReM/TekneHub Laboratory, UNIFE.

the building's life cycle. By identifying the damage in a timely manner, it then allows for an understanding of the priority order and scale of problems, so as to act reactively and cognitively in the imminence of an alert. The impact that *InSPiRE* platform has, it supports the user in scheduling targeted maintenance interventions, contributing to the efficient management of economic resources and increasing the useful life of the existing building.
The project addressed issues related to the implementation of data exchange protocols related to the integration of the intervention management database employed by the ACER agency, related to laser scanner and photogrammetric survey data of the actual state. Further development included monitoring of the context at the urban scale by radar-satellite method for the assessment of the subsidence phenomenon (fig. 1).

Digital documentation and Big Data

Driven by the innovation of enabling technologies such as IoT, today's society produces huge amounts of data, which play an increasingly central role in the relationships between users, assets, services, and investors due to their vocation to support more efficient and decentralized decision-making processes. The collection, connection and use of data are also changing the built environment, opening up the construction supply chain to innovation [Daissaoui et al. 2020]. Big Data databases consist of data from heterogeneous sources resulting in fragmented information. Indeed, they are not always available in an 'organized' format, but also come in the form of documents and meta-data.
A system aimed at a data-driven approach in the built environment, in a transition process such as the current one, must be able to develop an ecosystem of services [Lazarova et al. 2020] by responding to queries related to the synchronic state of affairs of diachronic sce-

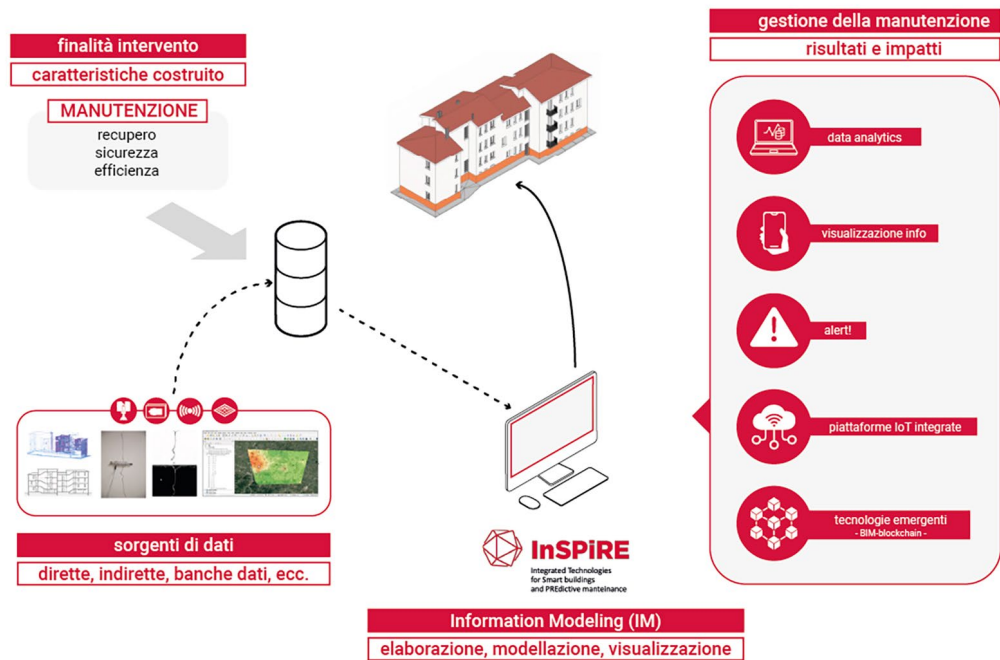



Fig. 2. Integration of data from different sources for predictive maintenance of the existing buildings. DIAPReM/TekneHub Laboratory, UNIFE.

narios. The technical and practical skills for the development of Big Data-based applications, require a specific domain of expertise in the field that must, however, be integrated with specific skills in the application domain, in this case the construction domain. Specific solutions for Big Data processing were used in the *InSPiRE* platform, and the skills inherent in the IT domain involved data science and programming for structuring data and applying algorithms. *InSPiRE* was set up using the *Lambda* architecture, which builds a system for managing Big Data in a series of layers, each fulfilling requirements by using the characteristics of the one below it. In the value chain of the existing built environment's data, where information is represented in different ways including graphs, maps, and diagrams, following the definition of intervention scenarios, it is the Speed layer that allows the information to be updated through real-time incremental computation (fig. 2).

Frontend, backend and data visualization

In the *InSPiRE* platform, the diagnostic and predictive module, enables real-time process management to allow the planning of actions needed for data collection and analysis, and is capable of receiving, storing and analyzing incoming traffic from any network (IoT and not IoT). It is then divided into functional areas according to user requirements. The Dashboard Home is the core of the portal where, maps and widgets display the data recorded by the system through summary indexes of the monitoring status. It consists of three separate thematic tabs for: 'alert', 'buildings' and 'map', this last one, organized on multiple levels that can be activated as needed, allows the monitored building to be visualized in relation to radar points, subsidence maps, isometric curves, and energy consumption, representing information at both the building and spatial scales, so as to facilitate the interpretation of the informations. Set up on the Dashboard, the 'alerts' tab, reports three different types of anomalies, depending on the one that is detected by sensor measurements. The 'buildings' tab allows viewing the information related to the acquisition status and the direct link to 2D representations and the BIM model. From the visualization of the three-dimensional model of the digital twin, navigation to all information linked to it is allowed, thus constituting a transition process aimed at increasing accessibility to the source of recorded data [Osello et al. 2015]. Through the BIM model, enriched with the sensors of the acquisition system, direct access is thus allowed to all users of the results produced by the data processing system [McArthur et al. 2018] and the images

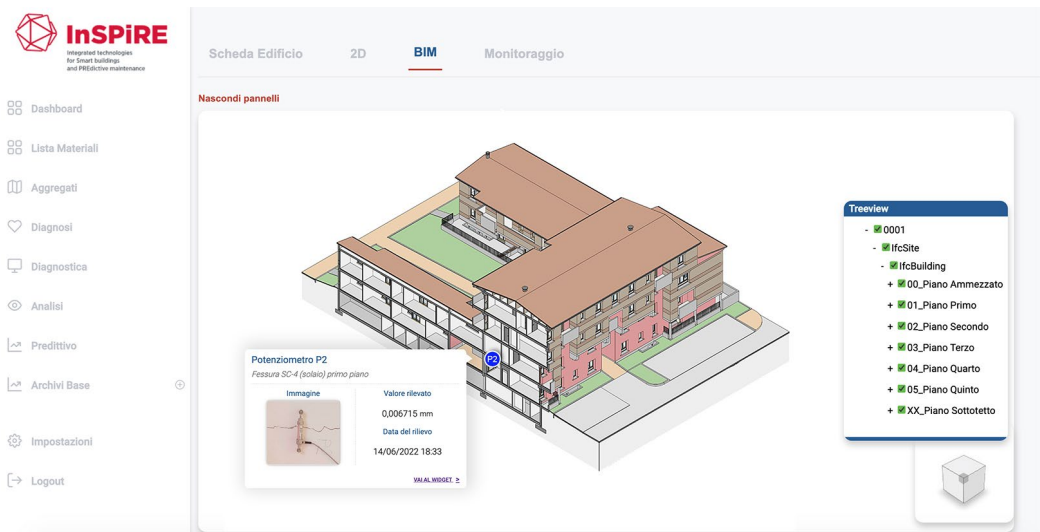



Fig. 3. Data visualization in the BIM environment. DIAPReM/TekneHub Laboratory, UNIFE.

recorded by the diagnostic imaging system, increasing the interoperability of information.
The 'materials and components classification macro category', an additional function of *InSPiRE*, includes the building categories, construction technologies, and materials that were recurrent in 20th-century public social housing, identifying these characteristics in the monitored building according to a hierarchical organization, which, in the Alberto Mario Street pilot project, are implemented both with actual data obtained from the diagnostic campaign together with statistical data (figs. 3, 4).

Machine learning and data visualization

Performance parameters were monitored during the period under review with the aim of assessing correlations with seasonal variations or others with events that showed changes in a diachronic scenario. In parallel, nonlinear analyses were conducted to study its behaviour in case of structural failure. Starting with subsidence data provided by the Emilia-Romagna Region, an analytical model was developed aimed at evaluating the damage on the building stock of the regional territory, which, starting from a limited number of parameters and building data, allows obtaining a first estimate of the expected damage. Priorities for intervention and maintenance actions on buildings have then been defined, which, integrated with continuous monitoring and sharing of collected data, will provide decision support in identifying situations that need priority [Raco et al. 2022]. In addition, data obtained from optical sensors placed under continuous monitoring and processed with machine learning and imaging algorithms showed that the approach used has the potential to monitor changes in the crack pattern with sub-millimetres accuracy.
Finally, a predictive algorithm was developed with the aim of predicting and comparing different scenarios of improvement in energy performance parameters by relating data from analytical analysis with parametric indicators assigned according to the geometry, type, and era of construction of the building. Having defined and standardized a set of recurring solutions for improving the energy efficiency of buildings and, associated with cost and performance improvement indicators achievable to the different interventions, the identification of the most appropriate solution in relation to the cost-benefit ratio to be achieved can be supported (fig. 5).

Medium and long-term fallout

The implementation of additional machine learning and BIM-blockchain algorithms is planned in the next stages of development. In fact, the scalability of the outcomes of the

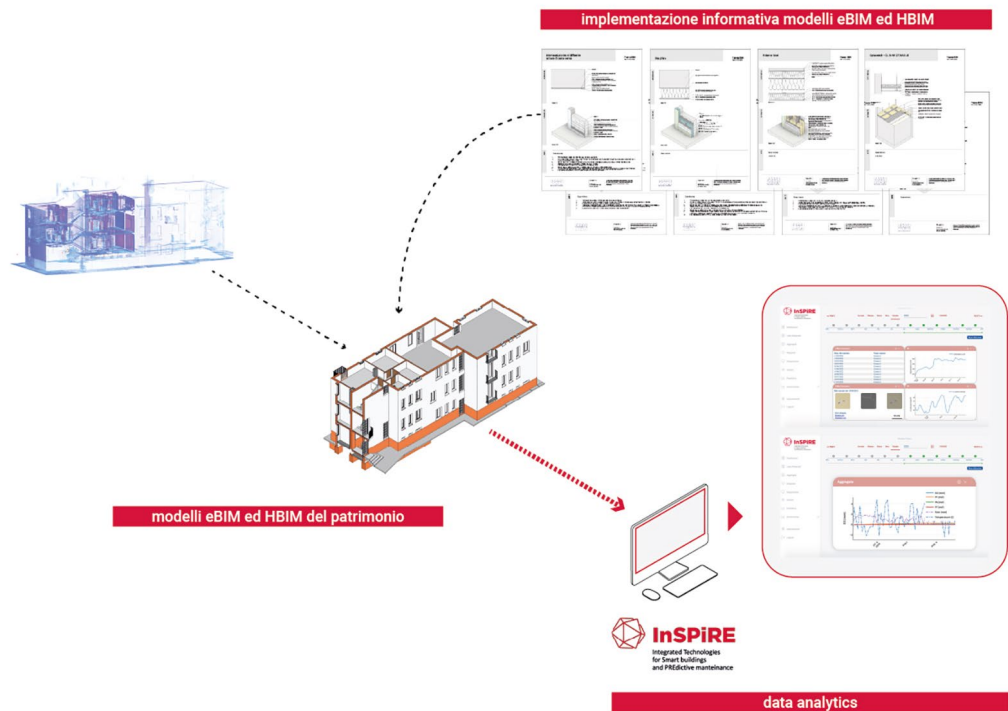



Fig. 4. From 3D modeling to data visualization. DIAPReM/TekneHub Laboratory, UNIFE.

research conducted so far makes the digital transition of diagnostics and monitoring possible through the implementation of the tested approaches and protocols to similar cases of the built heritage. Platform development through an 'Open BIM' approach based on open standards [Maietti et al. 2019] also requires the definition of semantic procedures, for the integration of complex systems (BIM) and IoT sensors. Urban and social regeneration, as expressed by European policies, are indeed inescapable phenomena of the development of strategies for the management and redevelopment of the built heritage. The impact of these results therefore contributes to cost reduction in maintenance interventions and efficient management of resources, so as to encourage the increase of the life cycle of the existing heritage by improving its accessibility and, in the long term, promoting a better quality of life.

Conclusions

The integration of enabling technologies to implement data sharing and visualization platforms for intervention management and maintenance, including predictive maintenance, of the built heritage can contribute to the digital transition of the supply chain. However, resistance persists from stakeholders to the 'Open Data' approach and transparency of the

Fig. 5. Comparison of different data from different surveys methodologies approach to define the calculation algorithm. DIAPReM/TekneHub Laboratory, UNIFE.

entire building lifecycle. While modeling and the use of Big Data now make the application of machine learning accessible to the construction sector as well [Giordano et al. 2022], the specialized skills required and the supply chain's historical resistance to the introduction of higher levels of industrialization are barriers today. However, organizations must be encouraged to adopt management and intervention models geared toward Big Data collection, which have become essential requirements for implementing analytics capabilities and planned IoT integrations [Campos et al. 2020]. Indeed, there is a growing interest in the experimentation and sharing of best practices that can enable the transition from traditional methods, which are no longer sustainable in terms of time and cost, to a more objective and timely management of issues related to intervention on the existing.
In this context, the scalability of innovation, a central node supporting public-private digital transition projects in the supply chain, is necessary to address the technological and social fragility that characterizes the social housing contexts spread throughout the national territory.

References

Balzani M., Raco F. (2020). Integrated Digital Models for the Representation and Diagnosis in Existing Buildings: The Clust-ER BUILD Project for the Value Chain Innovation. In C. Bolognesi, C. Santagati (Eds.). *Impact of Industry 4.0 on Architecture and Cultural Heritage*, pp. 181-201. Hershey: IGI Global.

Banfi F., Brumana R., Salvalai G., Previtali M. (2022). Digital Twin and Cloud Development: From Scan-to- BIM-to-DT Process to a 4D Multi-User Live App to Improve Building Comfort, Efficency and Costs. In *Energies*, No. 15, 4497, pp. 1-26.

Beavan V. (2021). Data in the natural and built environment. <https://www.arup.com/expertise/services/ digital/data-in-the-built-environment> (accessed 2 February 2023).

Bianchini C., Attenni M., Potestà G. (2021). Regenerative Design Tools for the Existing City: HBIM Potentials. In M.B. Andreucci, A. Marvuglia, M. Baltov, P. Hansen (Eds.). *Rethinking Sustainability Towards a Regenerative Economy*, pp. 23-43. Cham: Springer.

Campos Fialho B., Codinhoto R., Márcio Minto F. (2020). BIM and IoT for the AEC Industry: A systematic literature mapping. In *Congreso SIGraDi 2020*. São Paulo: Blucher.

Daissaoui A., Boulmakoul A., Karim L., Lbath A. (2020). IoT and Big Data Analytics for Smart Buildings: A Survey. In Procedia Computer Science, Vol. 170, pp. 161-168.

Digital twin towards a meaningful framework (November 2019). <https://www.arup.com/-/media/arup/files/publications/d/digital-twin-report.pdf> (accessed 2 February 2023).

Dimambro J. Data centres and technology. <https://www.arup.com/markets/science-industry-and-technology/data-centres> (accessed 2 February 2023).

Galdelli A., D'Imperio M., Marchello G., Mancini A., Scaccia M., Sasso M., Frontoni E., Cannella F. (2022). A Novel Remote Visual Inspection System for Bridge Predictive Maintenance. In *Remote Sens*, No. 14, 2248.

Giordano A., Huffman K. L., Bernardello R.A., Perticarini M., Basso A. (2022). Machine Learning and Artificial Intelligence for Smart Visualization, Presentation, and Study of Architecture and Engineering in the Urban Environment: Visualizing City Progress. In In F.M. Ugliotti, A. Osello (Eds.). *Handbook of Research on Implementing Digital Reality and Interactive Technologies to Achieve Society 5.0*, pp. 184-200. Hershey: IGI Global.

Key enabling technologie for Europe's technological sovereignty (16 December 2021). <https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_STU(2021)697184> (accessed 3 February 2023).

Kim I., Kim J.I. (2022). Special Issue on BIM and Its Integration with Emerging Technologies. In *Appl. Sci.*, No. 12, 5368.

Lazarova-Molnar S., Mohamed N. (2020). Collaborative data analytics for smart buildings: opportunities and models. In *Cluster Comput,* No. 22, pp. 1065-1077.

Maietti F., Di Giulio R., Piaia E., Medici M., Ferrari F. (2018). Enhanching Heritage fruition through 3D semantic modelling and digital tool: the INCEPTION project. In *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering,* No. 364, 012089.

Malinverni E.S., Mariano F., Di Stefano F., Petetta L., Onori F. (2019). Modelling in HBIM to document materials decay by a thematic mapping to manage the cultural heritage: the case of "Chiesa della Pietà" in Fermo. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII-2/W11, GEORES 2019 - 2nd International Conference of Geomatics and Restoration, Milan 8-10 May 2019, pp. 777-784.

McArthur J.J, Shahbazi N., Fok R., Raghubar C., Bortoluzzi B., An B. (2018). Machine learning and BIM visualization for maintenance issue classification and enhanced data collection. In *Advanced Engineering Informatics*, No. 38, pp. 101-112.

Osello A., Acquaviva A., Dalmasso D., Erba D., Del Giudice M., Macii E., Patti E. (2015). BIM and Interoperability for Cultural Heritage through ICT. In S. Brusaporci (Ed.). *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation,* pp. 274-291. Hershey: IGI Global.

Raco F., Balzani M., Planu F., Cittadino A. (2022). InSPiRE Project: Integrated Technologies for Smart Buildings and Predictive Maintenance. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* XLVIII-4/W3-2022, pp. 127-133.

Vernizzi C., Mazzi R. (2022). From the Digitization of Building Materials to Their Use in BIM Models on an Open Standard Platform: The eBIM Project and Its Applications. In F.M. Ugliotti, A. Osello (Eds.). *Handbook of Research on Implementing Digital Reality and Interactive Technologies to Achieve Society 5.0,* pp. 222-250. Hershey: IGI Global.

Authors
Fabio Planu, Università degli Studi di Ferrara, fabio.planu@unife.it
Dario Rizzi, Università degli Studi di Ferrara, dario.rizzi@unife.it
Gabriele Fredduzzi, Università degli Studi di Ferrara, gabriele.fredduzzi@unife.it

To cite this chapter: Planu Fabio, Rizzi Dario, Fredduzzi Gabriele (2023). Piattaforme digitali integrate per la gestione del patrimonio costruito esistente: il progetto *InSPiRE*/Integrated Digital Platforms for the Management of the Existing Built Heritage: the *InSPiRE* Project. In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (Eds.). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 3007-3022.

 Isbn 9788835155119